

## **Laboratório de Eletrônica – 2018/02**

### **Experiência N° 02: Regulador de tensão**

#### **I - Objetivos**

O objetivo deste experimento é o estudo de circuitos reguladores de tensão.

Maiores informações acerca dos diodos a serem utilizados neste experimento podem ser encontradas em:

- Datasheet dos diodos 1N4001 a 1N4007: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/1N/1N4007.pdf>
- Datasheet do diodo Zener 1N4739: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/61857/GE/1N4739.html>. Observe que este diodo Zener é diferente daquele que utilizamos no Experimento 1.
- Aula 1: Aula de Laboratório de Eletrônica – Fonte de alimentação, do professor Adson Rocha. O circuito que ele analisa é bastante parecido com o que vai ser montado neste experimento. Disponível em: <<https://youtu.be/2snJZrjQ2DU>>. Sugiro fortemente que assistam essa aula antes de virem ao laboratório para o experimento.
- Aula 2: Aula de Laboratório de Eletrônica – Fonte de alimentação – Parte II, do professor Adson Rocha. O circuito que ele analisa é bastante parecido com o que vai ser montado neste experimento. Disponível em: <<https://youtu.be/zV6fLYADGqg>>. Sugiro fortemente que assistam essa aula antes de virem ao laboratório para o experimento.
- **TVS/Zener Theory and Design Considerations**. Apostila com informações detalhadas de diodos Zener. 127 páginas. 2005. Disponível em: <[http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/HBD854-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/HBD854-D.PDF)>

#### **II – Preparação para o laboratório**

**Sugestão de leitura prévia:** Para responder às perguntas propostas, consulte o capítulo do livro texto referente a diodos, além dos datasheets dos diodos e das apostilas e aula sugeridas acima.

#### **Pré-relatório - INDIVIDUAL**

O pré-relatório consistirá na resposta a perguntas propostas ao longo do texto. Suas respostas serão baseadas na leitura do livro texto, das apostilas sugeridas e de outras fontes que encontrarem, **mas não devem ser diretamente copiadas de nenhuma fonte**. Isso é considerado plágio e é muito sério. Leia este post na página do curso de Laboratório de Circuitos 1:

<https://sites.google.com/site/labcircuitos1unb/classroom-news/introducaoteoricacuidadocomplagio>

As perguntas serão feitas ao longo do texto, para facilitar a leitura e compreensão. Este roteiro foi preparado com base no texto e figuras do capítulo 3 do livro do Sedra e Smith de Microeletrônica, listado no plano de ensino do curso.

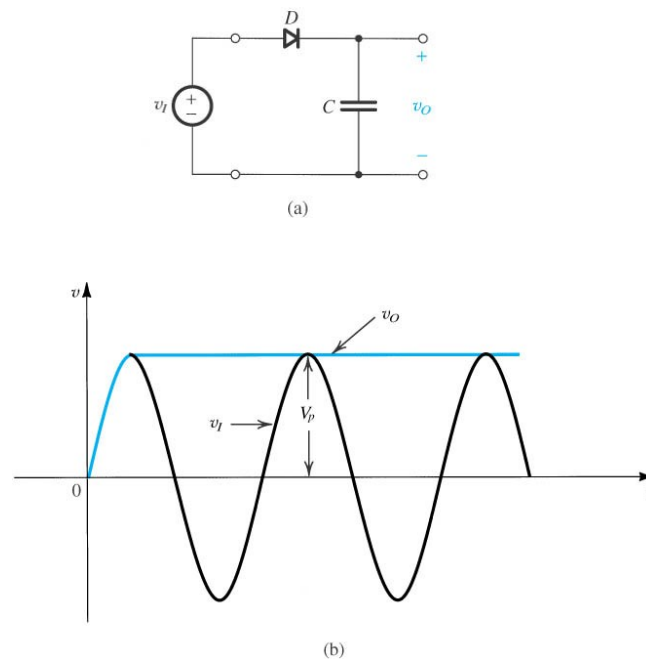
O objetivo de um **regulador de tensão** é a obtenção de uma tensão constante (DC ou CC) a partir de uma fonte tensão variável. Assim, no presente experimento será utilizado como sinal de entrada a saída de um transformador de 220 V / 12 V RMS (para diminuir consideravelmente a amplitude da tensão que será aplicada no circuito da bancada, principalmente por razões de segurança).

Assista à Aula 1 (*Aula de Laboratório de Eletrônica – Fonte de alimentação*) do professor Adson Rocha disponível em <https://youtu.be/2snJZrjQ2DU>. Leia os capítulos referentes a este assunto em seu livro texto. Com base na aula e na leitura dos livros-texto, responda às seguintes perguntas:

1. (1,0 pt) Por que o professor diz que uma senóide de 220 V<sub>RMS</sub> e 60 Hz tem amplitude de 311 V? Justifique sua resposta como o professor faz na aula. Como ele explica o que significa uma tensão de 200 V<sub>RMS</sub>?
2. (1,0 pt) O professor explica a relação entre as tensões de entrada e saída de um transformador com o número de espiras dos enrolamentos primário e secundário. O transformador do laboratório transforma 220 V<sub>RMS</sub> em 12 V<sub>RMS</sub>. Qual a amplitude da senóide na saída deste transformador em V? Com base neste valor e na explicação do professor sobre a relação de espiras, qual a relação de espiras  $N_2/N_1$  do transformador do laboratório?
3. (1,0 pt) No circuito com transformador em série com um diodo e um resistor de carga  $R_L$  mostrado na aula, qual será a forma de onda vista no resistor de carga  $R_L$  em um ciclo da onda senoidal? Justifique sua resposta. Este circuito é analisado detalhadamente na Aula 2 listada no início do roteiro.

No Experimento 1 foi montado um circuito retificador de meia-onda (o circuito da Figura 1(a) do Experimento 1), em que o diodo permitia a passagem para a saída (tensão no resistor) apenas do semi-ciclo positivo da onda senoidal de entrada. No presente experimento, será acoplado um capacitor em paralelo à resistência do retificador de meia-onda.

No livro de Sedra e Smith, no item “**O retificador com capacitor de filtro – o retificador de pico**” são apresentados dois circuitos para ilustrar o efeito de um capacitor de filtro, mostrando as formas de onda da tensão de entrada  $v_I$  e da tensão de saída  $v_O$  supondo um diodo ideal. Estas figuras estão repetidas nas Figuras 1 e 2.



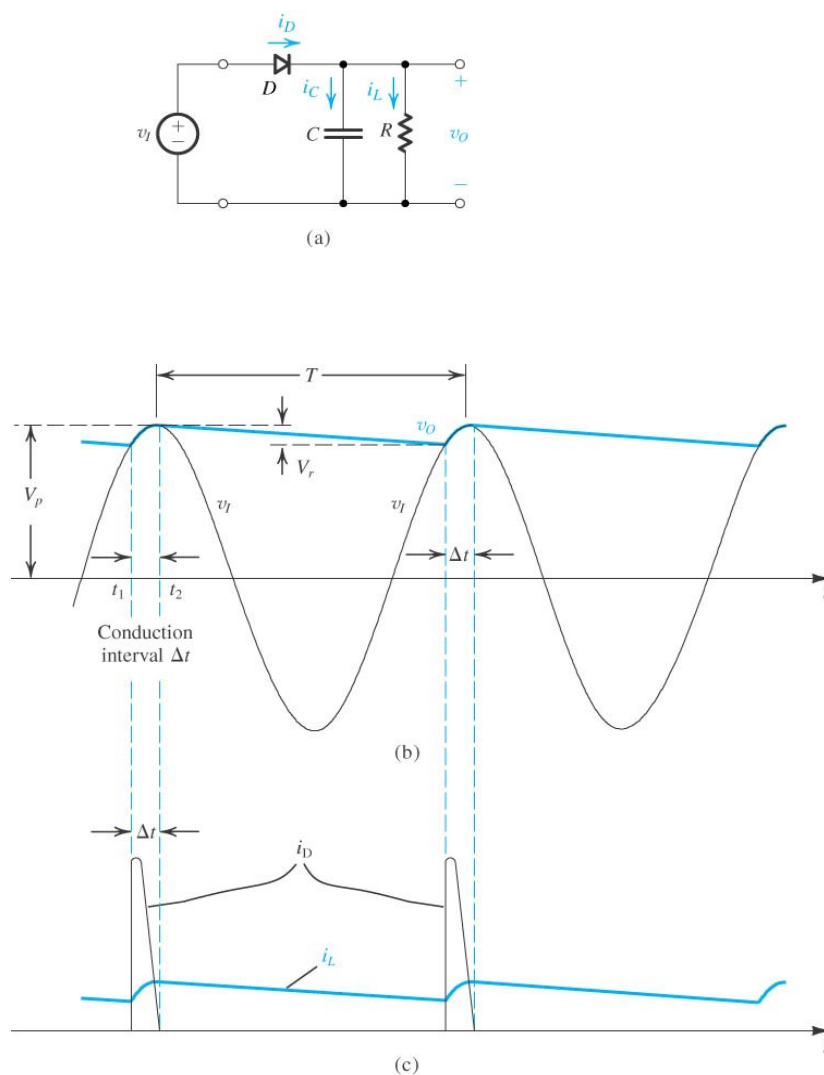
**Figura 1:** Figura 3.40 do livro do Sedra e Smith (Microeletrônica, 4ª edição). (a) Um circuito simples para ilustrar o efeito de um capacitor de filtro. (b) Formas de onda de entrada e saída **supondo um diodo ideal**. Observe que o circuito gera uma tensão CC igual ao valor de pico da tensão de entrada senoidal. O circuito é, portanto, conhecido como um retificador de pico ou detector de pico.

Assista à [Aula 2](#) (*Aula de Laboratório de Eletrônica – Fonte de alimentação – Parte II*) do professor Adson Rocha disponível em <https://youtu.be/zV6fLYADGqg>. Observe que o circuito “Retificador de meia-onda com filtro capacitivo” analisado nesta aula é igual ao circuito da Figura 3 da Parte Experimental deste experimento, onde  $v_L$ , a tensão de alimentação do circuito com diodo, capacitância, e resistência, é a saída de 12 V (RMS) do transformador. Sugiro fortemente que assistam essa aula antes de virem ao laboratório para o experimento. Leia os capítulos referentes a este assunto em seu livro texto. Com base na aula e na leitura dos livros-texto, responda às seguintes perguntas:

4. (0,5 pt) Qual a frequência da senóide no secundário do transformador do laboratório? Justifique sua resposta.
5. (0,5 pt) Qual a diferença entre diodo retificador e diodo de sinal segundo a explicação do professor?
6. (0,5 pt) Veja que o circuito ligado ao secundário do transformador, composto por um diodo retificador e uma resistência de carga  $R_L$ , é basicamente o mesmo circuito da primeira montagem do Experimento 1. O professor explica que pode-se substituir o diodo por dois modelos diferentes. Quais são estes modelos do diodo que o professor comenta?
7. (1,0 pt) Para analisar o funcionamento do circuito, para simplificar, o professor utiliza o modelo de fonte de tensão constante do diodo para explicar o funcionamento do circuito composto pelo diodo em série com a resistência. A seguir, o professor mostra o circuito de um retificador de meia onda com filtro capacitivo. Observe que o capacitor utilizado no circuito é eletrolítico. (a) Segundo o professor, porque

este capacitor deve ser eletrolítico? (b) Qual o cuidado que o professor menciona que se deve ter ao se ligar um capacitor eletrolítico ao circuito? Porque este cuidado é importante? (c) Como identificar a direção correta de se ligar o capacitor no circuito? (d) Qual a tensão mínima que o capacitor eletrolítico a ser utilizado no circuito do laboratório deve ter? Justifique sua resposta.

8. (1,0 pt) Determine a fórmula analítica da tensão de ondulação (“ripple”)  $V_r$ , que corresponde à queda de tensão do capacitor durante o ciclo de descarga, como o professor faz na aula. Esta tensão está mostrada na Figura 2(b) abaixo. Explique o seu raciocínio até chegar à fórmula solicitada. Observe que esta resolução também encontra-se em seu livro texto. Respostas sem explicação não serão pontuadas.



**Figura 2:** Figura 3.41 do livro do Sedra e Smith (Microeletrônica, 4ª edição). Formas de onda da tensão e da corrente em um circuito retificador de pico com constante de tempo  $\tau = RC \gg T$ , onde  $T$  é o período, em segundos, da onda senoidal de entrada ( $T = 1/f$ )

9. (1,0 pt) Para o circuito da Figura 1 acima, o que mudaria na tensão de saída  $v_0$  ao se considerar o **modelo de fonte de tensão constante** para o diodo, ao invés do modelo de diodo ideal considerado na figura? Ou seja, determine a tensão de saída para este modelo do diodo. Observe que este circuito é resolvido, exatamente para este modelo de diodo, na Aula 2 do prof. Adson Rocha. Em sua resposta, desenhe os circuitos equivalentes tanto para o diodo em condução quanto para o diodo em corte para substanciar sua resposta. Lembre-se de explicar cada figura com texto explicativo em seu pré-relatório.
10. (0,5 pt) Consulte o *datasheet* do diodo Zener a ser utilizado em laboratório. (a) Qual o valor nominal da tensão Zener do diodo (condução reversa)? (b) Qual o valor nominal da impedância máxima (" $Z_{ZT}$  at  $I_{ZT}$ " em  $\Omega$ ) do diodo Zener para este valor de tensão? (c) Qual o valor da corrente  $I_{ZK}$  (em mA) para este diodo na tensão nominal?

Consulte a apostila **Lecture 6: Zener Diodes**, elaborada pelo prof. Keith Whites (<https://mixsignal.files.wordpress.com/2014/01/320lecture6.pdf>). Esta apostila contém notas de aula com exemplos resolvidos do livro do Sedra e Smith de Microeletrônica. O **exemplo N6.1**, similar ao exemplo 3.8 do livro texto (Sedra e Smith, 4ª edição), mostra a análise de um circuito simples com diodo Zener por meio de um modelo de circuito equivalente do diodo, consistindo de uma fonte de tensão em série com uma resistência. Observe que o valor da fonte de tensão equivalente é o valor nominal da tensão Zener  $V_Z$  de **polarização reversa** do diodo (especificado no *datasheet* do componente) e a resistência  $r_Z$  é a **resistência incremental** do diodo Zener em um determinado ponto de operação, como explicado no livro texto.

Observe neste exemplo que a resistência de carga  $R_L$  deve ter um **valor mínimo** para que o diodo Zener permaneça na **região de avalanche** (*breakdown region*). Valores menores de resistência levam o diodo Zener a sair da região de avalanche e entrar na região de polarização reversa.

11. (1,5 pt) Considerando-se uma fonte de  $12\text{ V} \pm 1\text{ V}$  (no exemplo N6.1 a fonte é de  $10\text{ V}$ ) e para a mesma resistência  $R = 0,5\text{ k}\Omega$  do exemplo conectada em série com a fonte, **mas considerando-se os parâmetros do diodo Zener 1N4739 a ser utilizado neste experimento**, determine o **valor mínimo** da resistência de carga  $R_L$  para a qual o diodo ainda esteja operando na região de ruptura ou avalanche. Siga os passos mostrados no exemplo da apostila e no exemplo citado do livro texto. Lembre-se de primeiro determinar a menor corrente (pior caso) fornecida a  $R$  utilizando os valores nominais de  $V_Z$  e  $I_{ZT}$  (nas duas primeiras colunas do *datasheet* para o diodo 1N4739) e, a seguir, a corrente  $i_L$  na carga. Com estes dados e a partir do circuito equivalente para o diodo Zener (fonte  $V_Z$  + resistência  $r_Z$ ) é possível determinar o valor da resistência de carga solicitado.

Ainda com base na Aula 2: Laboratório de Eletrônica – Fonte de alimentação – Parte II do prof. Adson Rocha, disponível em <https://youtu.be/zV6fLYADGqg>, observe que, como comentado pelo professor, o objetivo de um circuito retificador de pico é carregar a capacitância  $C$  em paralelo com a resistência de

carga quando o diodo D encontra-se “ligado” (diretamente polarizado, ou seja, conduzindo corrente). Durante os instantes em que o diodo D encontra-se “desligado” (reversamente polarizado), a carga acumulada em C é descarregada na resistência de carga.

12. (0,5 pt) Inclua as referências bibliográficas utilizadas.

Lembrem-se: o pré-relatório é individual. Questões respondidas “em grupo” terão sua pontuação devidamente descontadas.

As respostas a estas perguntas devem ser enviadas ao professor de laboratório por email, em arquivo **pdf**, com nome, matrícula, data, e título do experimento, com o enunciado das perguntas, além de suas respostas, **até as 23:59 do dia imediatamente anterior ao primeiro dia deste experimento.**

**Laboratório de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos**

**Experiência N° 02: Regulador de tensão - 2018/02**

**Turma:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_\_

Alunos: \_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_

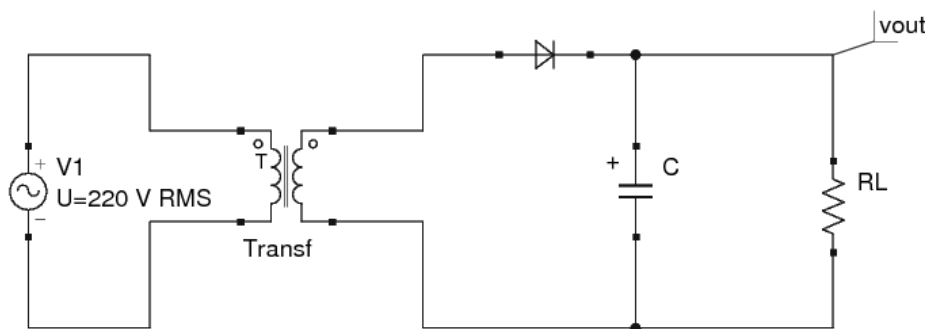
**III - Procedimento Experimental**

**Material necessário**

- 1 diodo 1N4007 ou 1N4004
- 1 diodo Zener 1N4739 ( $V_Z = 9.1V, r_z = 5\Omega$ ) ou equivalente
- 2 resistores  $1k\ \Omega/0.25W$
- 1 resistor  $2,2k\ \Omega/0.25W$
- 1 resistor  $560\ \Omega/0.25W$
- 1 resistor  $330\ \Omega/0.25W$
- 1 capacitor eletrolítico  $100 - 220\ \mu F/18 - 40V$
- 1 capacitor eletrolítico  $1000\ \mu F/18 - 40V$
- 1 transformador  $220V/12V$
- Equipamentos: osciloscópio de dois canais, multímetro

**Experiências**

**Experiência 1 (2,0 pts).** Monte o circuito da Figura 3. Capture a forma de onda nos terminais do capacitor C quando a resistência  $R_L$  não está presente. A seguir, capture a forma de onda nos terminais do capacitor utilizando-se a resistência de carga  $R_L$ . Utilize  $R_L = 2,2k\ \Omega$ . Compare o valor de  $v_{out}$  obtido com o esperado, de acordo com a teoria. Inclua as figuras e as discussões no relatório.

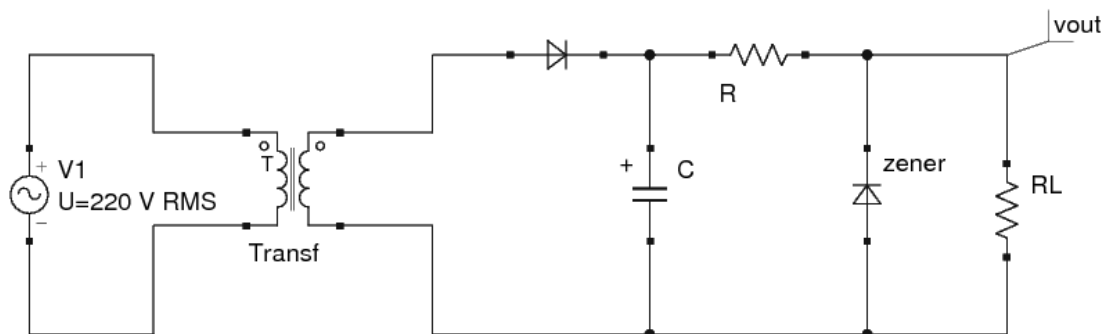


**Figura 3.** Circuito retificador com filtro capacitivo e carga (Transformador 220V(RMS) / 12V(RMS)).

**Experiência 2 (2,0 pts).** Monte o circuito da Figura 4 usando  $R = 1k\ \Omega$ . Use um voltímetro para

medir a componente DC de  $v_{out}$ , denominada  $v_{DC}$ , que consideramos aqui como uma função apenas da resistência de carga  $R_L$ . Ligue o canal 1 do osciloscópio à tensão de entrada do circuito e o canal 2 do osciloscópio à tensão  $v_{out}$  mostrada. Considere  $v_{pp}^{R_L}$  a flutuação instantânea de tensão *peak-to-peak* sobre a carga e  $v_{pp}^C$  sobre o terminal positivo do capacitor, ou seja, o *ripple* do circuito de filtragem. Ajuste ambos os canais do osciloscópio para **acoplamento AC**.

Para diferentes valores de  $R_L$ , complete a Tabela 1. Capture as curvas obtidas pelo osciloscópio com  $R_L = 2,2k\Omega, 1k\Omega, 560\Omega, 330\Omega$ . **Mostre o funcionamento do circuito com  $R_L = 560\Omega$  ao professor/monitor.** Observe que o valor da capacitância da montagem da Figura 4 é diferente do valor da capacitância da Figura 3.



**Figura 4.** Teste de carga de fonte de alimentação com regulação de tensão por diodo Zener ( $D=1N4007, C=1000\mu F/40V, \text{TRAFO}=\text{Transformador } 220V / 12V, D_Z=1N4739, R=1k\Omega$ )

**Tabela 1.** Medidas obtidas na experiência 2.

$R_L$	$v_{DC}$	$v_{DC}(\infty) - v_{DC}(R_L)$	$v_{pp}^C$	$v_{pp}^{R_L}$
$\infty$				
$2,2k\Omega$				
$1k\Omega$				
$560\Omega$				
$330\Omega$				

**Observação 1:** Tomar cuidado com o risco de choque elétrico!

### **Questões experimentais e discussão**

**Questão 1 (2,0 pts).** Na Experiência 2, a resistência de carga  $R_L$  utilizada no circuito da Figura 3 varia de  $2.2 K\Omega$  a  $330 \Omega$ . Para qual resistência você esperaria teoricamente que houvesse uma menor tensão pico-a-pico da tensão de ondulação (“ripple”) em  $v_{\theta}(t)$ ? Explique o seu raciocínio, utilizando em sua explicação os conceitos de constante de tempo do circuito ( $\tau = RC$ ) e período ( $T = \frac{1}{f}$ ) do sinal de entrada senoidal. Este mesmo comportamento foi observado no laboratório?

Comente detalhadamente o que observou na tensão de ondulação  $v_{pp}^{RL}$  ao variar o valor de  $R_L$  na Experiência 2.

**Questão 2 (2,0 pts).** Qual o problema de se ter uma tensão de ondulação na saída da fonte? Veja na [Aula 2](#) do professor Adson Rocha a explicação. Inclua em sua resposta o conceito de tensão média de saída. Nesta mesma aula, o professor explica a diferença entre uma fonte regulada e uma fonte não regulada. O circuito da Experiência 2 é uma fonte regulada ou não regulada? Justifique sua resposta.

**Questão 3 (1,0 pt).** Por que foi colocado um diodo Zener no circuito da Figura 4? Qual a sua função em um circuito regulador de tensão?

**Questão 2 (1,0 pt).** Quais seriam as diferenças no comportamento do circuito caso fosse utilizado um retificador de onda completa?